动 物 学 研 究 2008，Apr. 29(2)：159—164 CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853
Zoological Research

有机氯农药在东方白鹳和白鹤羽毛中的残留分析

陈春玲[1]，周立志[1,*]，江 浩[2]，吴治安[2]，邓 磊[1]，汪维平[1]，杨荣景[1]，童 康[1]

(1. 安徽大学 生命科学学院生物多样性与湿地生态研究所，安徽省生态工程与生物技术重点实验室，安徽 合肥 230039；2. 合肥市野生动物园， 安徽 合肥 230031)

摘要：2007 年 5 月，采集合肥野生动物园采集东方白鹳（*Ciconia boyciana*）及白鹤（*Grus leucogeranus*）的胸部廓羽、飞羽及尾羽样品共 51 枚，用气相色谱法分别检测其中的 op’-DDT、pp’-DDD、pp’-DDE、pp’-DDT、α-六六六、β-六六六、γ-六六六、δ-六六六及六氯苯 9 种有机氯农药的残留量。检测结果发现，pp’-DDD、pp’-DDE、pp’-DDT、β-六六六、δ-六六六 5 种有机氯农药在东方白鹳和白鹤羽毛中都有不同程度的检出，其中 pp’-DDD 的残留量最高，在东方白鹳的廓羽、飞羽和尾羽中的平均残留量分别达到 0.8936、0.8353 和 0.7516μg/g 干重，在白鹤的廓羽、飞羽和尾羽中的平均残留量分别达到 0.5685、0.5077 和 0.4657 μg/g 干重；pp’-DDD 和 pp’-DDT 在两种鸟胸部廓羽、飞羽及尾羽间的残留量无显著差异；pp’-DDD 在东方白鹳飞羽和尾羽中的残留量显著高于白鹤。

关键词：有机氯农药；生物监测；东方白鹳；白鹤
中图分类号：Q959.722 **文献标识码**：A **文章编号**：0254-5853-(2008)02-0159-06

Residues of Organochlorine Pesticides in the Feathers of Oriental White Stork and Siberian White Crane

CHEN Chun-ling[1]，ZHOU Li-zhi[1,*]，JIANG Hao[2]，WU Zhi-an[2]，DENG Lei[1]，WANG Wei-ping[1]，YANG Rong-jin[1]，TONG Kang[1]

(1. *Institute of Biodiversity and Wetland Ecology*，*School of Life Science*，*Anhui University, Anhui Key Laboratory of Ecological Engineering and Bio-technique*，*Hefei* 230039，*China*；2. *Hefei Wild Animal Park*，*Hefei* 230001，*China*)

Abstract：We collected 51 feather samples from the breasts, tails and wings of Oriental White Storks（*Ciconia boyciana*）and Siberian White Cranes（*Grus leucogeranus*）at Hefei Wild Animal Park in May, 2007. Environment-Determination of methylmercury-Gas chromatography was used to determine the residues of op’-DDT，pp’-DDD，pp’-DDE，pp’-DDT，α-BHC，β- BHC，γ- BHC，δ- BHC and Hexachlorobenzene. The results showed that pp’-DDD，pp’-DDE，pp’-DDT，β-BHC， δ-BHC were detected in feathers of both Oriental White Storks and Siberian White Cranes，in which pp’-DDD had the greatest proportion，and reached 0.8936，0.8353 and 0.7516μg/g (dry weight) respectively in the breast contour feathers，pluma and tail feathers of Oriental White Storks. The residues were 0.5685，0.5077 and 0.4657μg/g (dry weight) in the feathers of Siberian White Cranes. There was not a significant difference in the residues of pp’-DDD and pp’-DDT in the breast contour feathers，pluma and tail feathers between both birds，but residues of pp’-DDD in the breast contour feathers and tail feathers of the Oriental White Stork was significantly higher than that of the Siberian White Crane.

Key words：Organochlorine pesticides；Biomonitoring；Oriental White Stork；Siberian White Crane

有机氯农药（OCPs）从上个世纪 50 年代以来曾被大量用于农业害虫和疾病的控制。此类物质不易分解，且具有一定的挥发性，对生物体的免疫系统、内分泌系统及生殖和发育造成严重影响(Moriarty，1972； Luebke，2002；Ratcliffe，1967；Shu et al，2003)。同时，它们可以沿食物链逐级放大，在较高营养级生物体内富集，造成全球性的环境污染(Lu et al，2005)，严重威胁野生动物和人类的生存和繁衍。目前，全球大部分国家和地区已禁止使用这类农药。

收稿日期：2007-11-20；接受日期：2008-01-28
基金项目：安徽省教育厅重点科研项目（2006KJ050A）；国家自然科学基金项目（30470257）；安徽大学人才培养项目资助
* 通讯作者（Corresponding author），E-mail: zhoulz@ahu.edu.cn

由于有机氯农药具有亲脂性，通常选择野生动物作为指示生物，进行环境中此类污染物的监测研究 (Barata et al，2007；van den Brink & Jansman，2006；Robinson et al，2006)。鸟类在生态系统中处于食物链的较高营养级，且对环境变化敏感，逐渐成为重要的环境指示生物(Dong et al，2002；Bustnes et al，2002；Furness et al，1997；Zhao et al，2002)。鸟类的内脏组织（Naso et al，2003）、血液（Bustnes et al，2002）和卵(Gong et al，2001；Albanis et al，2003；Zhou et al，2005；Burger et al，2004)等都曾被作为监测研究的生物对象。但是，无论是以鸟类的内脏组织还是卵作为监测样品都会对鸟类产生影响。另一方面，羽毛中有机氯农药残留量与体内脂肪、肌肉和血液中残留量具有相关性（Jaspers et al，2006），使得羽毛成为环境中有机氯农药监测的指示物。采用羽毛样品的非损伤取样进行污染物监测，已逐渐被人们所接受(Burger et al，1995；Dauwe et al，2005；Jaspers et al，2006，2007)。

已有研究表明重金属污染物在不同鸟类的腹部和背部廓羽、飞羽及尾羽中的分布情况不同(Guo et al，2001)。而有机氯农药在鸟类羽毛中是否有规律地分布？不同部位羽毛用于环境中有机氯污染监测是否会造成监测结果的误差？这对于采用羽毛进行有机氯污染物检测至关重要。因此，研究有机氯农药在鸟体羽毛中的分布规律，对于以鸟类作为指示生物，监测环境中有机氯农药的污染状况具有重要意义。

本文通过检测我国曾经大量生产和使用的六氯苯、DDT和六六六及其代谢物在鸟类羽毛中的残留量，探讨它们在鸟类羽毛中的分布规律，为羽毛取样的部位选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品的采集和保存

实验样品于 2007 年 5 月取自合肥市野生动物园。选择健康的笼养东方白鹳和白鹤采集羽毛样品。7 只东方白鹳全部为 2005 年繁殖的幼鸟，鸟龄 2 年；10 只白鹤只有 1 只为 2002 年合肥市野生动物园的繁殖鸟，其他 9 只为 2002—05 年野外收救个体。分别在每只鸟的胸部、翅和尾部取 3—5 枚羽毛，编号封装于样品袋中，带回实验室后放入-20℃冰箱中冻藏保存。

1.2 样品的预处理

样品的预处理主要采用 Covaci et al（2001）的方法进行。

为除去羽毛表面沾附的污染物，用蒸馏水多次清洗样品后，于（40±5）℃烘至恒重。剪碎后精确称取约 200 mg 的羽毛于洁净的试管中，加入 3 mL 盐酸（分析纯）于 40℃水浴中放置过夜。然后用 4 mL 的正已烷和二氯甲烷混合液（正已烷：二氯甲烷，V：V=4：1）萃取 2 次，提取液合并后用 1 mL 的浓硫酸（分析纯）净化，直到净化后的浓硫酸无色为止。最后将提取液浓缩后完全移入 2 mL 的样品瓶中。于冰箱中冷藏保存，1 周内进行气相色谱检测。

1.3 气相色谱检测条件

色谱检测在安徽大学现代实验技术中心进行。气相色谱（日本岛津公司，GC-2010）检测器为电子捕获检测器，机器检测限 6.5×10^{-13} g/mL。气相色谱柱为 RXT-1710，长度 30 m，内径 0.25 mm，涂布厚度 0.25 μm，进样口温度 200℃，检测器温度 280℃，柱箱温度 150℃起始，保留 5 min，以每分钟 5℃升高至 275℃，保留 5 min。柱流量 0.8 mL/min，分流比 50：1；电流 1 nA。

农药标准品购于国家环境监测中心。

1.4 数据处理

本实验所有的检测数据均用 SPSS13.0 进行统计分析，通过 *T*-检验和单因素方差分析（ANOVA）确定同种鸟不同部位羽毛间以及不同鸟相同部位羽毛间有机氯农药残留量的差异；通过线性相关分析，确定同种鸟不同部位羽毛间有机氯农药残留量是否存在相关性。

2 结果与分析

2.1 有机氯农药在不同部位羽毛中的残留情况

pp’-DDD、pp’-DDE、pp’-DDT、β-六六六、δ-六六六在东方白鹳胸部廓羽中都有检出（表 1），其中 pp’-DDD 和 pp’-DDT 的检出率较高，分别达到 85.71%和 57.14%；pp’-DDD 的平均残留量最高为 0.8936 μg/g 干重。白鹤胸部廓羽中只有 pp’-DDD、pp’-DDT 及 δ-六六六三种有机氯农药有不同程度检出（表 2），其中 pp’-DDD 和 δ-六六六的检出率较高，分别达 100%和 70%；其中平均残留量最高的仍为 pp’-DDD，为 0.5685 μg/g 干重。op’-DDT、α-六六六、γ-六六六及六氯苯在东方白鹳和白鹤胸部廓羽中都没有检出。

东方白鹳飞羽中均检出不同程度的 pp’-DDD、pp’-DDT、 pp’-DDE、β-六六六及 δ-六六六（表 1），pp’-DDD、pp’-DDT 及 δ-六六六的检出率较高，分别为 85.71%、71.43%、57.14%；平均残留量最高的是 pp’-DDD，达 0.8353 μg/g 干重。白鹤飞羽中 pp’-DDD、pp’-DDT 及 δ-六六六有不同程度检出（表 2），pp’-DDD 的残留程度较高，检出率达 90%。其平均残留量也是最高的，为 0.5077 μg/g 干重。在东方白鹳和白鹤飞羽中都没有检出 op’-DDT、α-六六六、γ-六六六及六氯苯 4 种有机氯农药。

pp’-DDD 、pp’-DDE、 pp’-DDT、δ-六六六 4 种有机氯农药在东方白鹳尾羽中有不同程度检出（表 1），尾羽中 pp’-DDD 的检出率较高，达 85.71%。平均残留量最高的仍为 pp’-DDD，达 0.7516 μg/g。pp’-DDD、pp’-DDT、β-六六六及 δ-六六六在白鹤尾羽中有不同程度检出（表 2），其中只有 pp’-DDD 的检出率最高，达 90%；其平均残留量也最高，为 0.4657 μg/g 干重。其余 4 种有机氯农药 op’-DDT、α-六六六、γ-六六六和六氯苯在东方白鹳和白鹤尾羽中都没有检出。

2.2　有机氯农药在不同部位羽毛中残留量的比较

pp’-DDD、pp’-DDE、pp’-DDT、β-六六六、δ-六六六这五种有机氯农药在东方白鹳及白鹤的羽毛中都有不同程度的检出，但由于 pp’-DDE、β-六六六、δ-六六六这 3 种在羽毛中的检出率较低，无法进行统计分析，我们选择检出率较高的 pp’-DDD、pp’-DDT 进行分析。

pp’-DDD 在东方白鹳和白鹤不同部位羽毛中的检出率都较高（表 1 和表 2）。pp’-DDD 在东方白鹳和白鹤不同部位羽毛中平均残留量由高到低顺序都是：胸部廓羽>飞羽>尾羽。pp’-DDD 的残留量在东方白鹳的 3 个部位的羽毛之间差异不显著（F=0.255，df=2，P=0.778）；在白鹤的 3 个部位羽毛之间差异也不显著(F=0.180，df=2，P=0.836)。

pp’-DDD 的残留量在东方白鹳及白鹤不同部位羽毛中的相关分析，也未发现胸部廓羽与飞羽、胸部廓羽与尾羽、飞羽与尾羽间的相关性（表 3）。

pp’-DDT 的平均残留量在东方白鹳和白鹤不同部位间分布不均匀(表 1 和表 2)。东方白鹳的尾羽中平均残留量最高，胸部廓羽中最低；而在白鹤的胸部廓羽中平均残留量最高，飞羽中的最低。pp’-DDT 在东方白鹳（F = 1.072，df = 2，P = 0.410）和白鹤

表 1　东方白鹳廓羽、飞羽、尾羽中有机氯农药的残留量（μg/g 干重）

Tab. 1　Residues of OCPs in the feathers from the breasts，tails and wings in Oriental White Stork (μg/g DW)

有机氯农药 OCPs	廓羽 Contour feather			飞羽 Pluma feather			尾羽 Tail feather		
	检出率 Occurrence rate (%)	残留范围 Residue range	残留量 Residue (X±SD)	检出率 Occurrence rate (%)	残留范围 Residue range	残留量 Residue (X±SD)	检出率 Occurrence rate (%)	残留范围 Residue range	残留量 Residue (X±SD)
op’-DDT	0	—	—	0	—	—	0	—	—
pp’-DDD	85.71	—1.4921	0.8936± 0.4022	85.71	—1.2204	0.8353± 0.3445	85.71	—1.1584	0.7516± 0.2807
pp’-DDE	28.57	—0.0945	0.0964± 0.0028	14.29	—0.0996	0.0996	28.57	—0.2210	0.1695± 0.0728
pp’-DDT	57.14	—0.1476	0.1302± 0.0201	71.43	—0.4773	0.2001± 0.1554	42.86	—0.3481	0.2279± 0.1076
∑DDT	85.71	—1.6388	1.0125± 0.4112	85.71	—1.4912	1.0186± 0.3697	100	0.2210— 1.1584	0.7603± 0.3667
α-六六六(α-BHC)	0	—	—	0	—	—	0	—	—
β-六六六(β- BHC)	28.57	—0.3201	0.2403± 0.1128	14.29	—0.2847	0.2847	0	—	—
γ-六六六(γ- BHC)	0	—	—	0	—	—	0	—	—
δ-六六六(δ- BHC)	28.57	—0.1105	0.1104± 0.0001	57.14	—0.2527	0.1584± 0.0635	42.86	—0.2199	0.1756± 0.0386
∑六六六(∑BHC)	57.14	—0.3201	0.1753± 0.0993	57.14	—0.3998	0.2296± 0.1268	42.86	—0. 2199	0.1756± 0.0386
六氯苯 Hexachlorobenzene	0	—	—	0	—	—	0	—	—

—表示未检出（Not detected）。

表 2 白鹤廓羽、飞羽、尾羽中有机氯农药的残留量（μg/g 干重）

Tab. 2 Residues of OCPs in the feathers from the breasts，tails and wings in Siberian White Crane（μg/g DW）

有机氯农药 OCPs	廓羽 Contour feather			飞羽 Pluma feather			尾羽 Tail feather		
	检出率 Occurrence rate (%)	残留范围 Residue range	残留量 Residue (X±*SD*)	检出率 Occurrence rate (%)	残留范围 Residue range	残留量 Residue (X±*SD*)	检出率 Occurrence rate (%)	残留范围 Residue range	残留量 Residue (X±*SD*)
op’-DDT	0	—	—	0	—	—	0	—	—
pp’-DDD	100	0.0195—0.8480	0.5685±0.2471	90	—0.9117	0.5077±0.2232	90	—0.6630	0.4657±0.0997
pp’-DDE	0	—	—	0	—	—	10	—0.1979	0.1979
pp’-DDT	30	—0.7619	0.3454±0.3638	20	—0.0828	0.0746±0.0116	30	—0.1843	0.1170±0.0589
∑DDT	100	0.0195—1.1795	0.6721±0.3275	90	—0.9945	0.5312±0.2273	100	0.2892—0.6630	0.4740±0.1114
α-六六六(α-BHC)	0	—	—	0	—	—	0	—	—
β-六六六(β- BHC)	0	—	—	0	—	—	20	—0.1872	0.1828±0.0061
γ-六六六(γ- BHC)	0	—	—	0	—	—	0	—	—
δ-六六六(δ- BHC)	70	—0.4977	0.2763±0.1505	20	—0.2751	0.2131±0.0878	50	—0.0188	0.2185±0.0980
∑六六六(∑BHC)	70	—0.4977	0.2763±0.1505	20	—0.2751	0.2131±0.0878	50	—0.3753	0.2565±0.1169
六氯苯 Hexachlorobenzene	0	—	—	0	—	—	0	—	—

—表示未检出（Not detected）。

（*F*=0.695，*df*=2，*P*=0.524）不同部位羽毛中的残留量没有显著差异。

pp’-DDT 的残留量在东方白鹳的胸部廓羽与飞羽、胸部廓羽与尾羽、飞羽与尾羽间都没有相关性(表 3);但在白鹤飞羽和尾羽中的残留量有极显著相关(表 3)。

对东方白鹳与白鹤相同部位羽毛中 pp’-DDD 残留量比较发现，东方白鹳三个部位羽毛中的 pp’-DDD 平均残留量均高于白鹤（表 1—2），且飞羽和尾羽中 pp’-DDD 残留量种间差异显著（飞羽：*F*=2.251，*df*=13，*P*=0.042；尾羽：*F*=2.021，*df*=14，*P*=0.014）。

3 讨 论

3.1 不同物种羽毛中有机氯农药残留程度的比较

本研究中，东方白鹳胸部廓羽、飞羽及尾羽中 pp’-DDD 残留量均高于白鹤，这与东方白鹳和白鹤的饲养条件有关。在合肥市野生动物园，东方白鹳每日的食物全为泥鳅（*Misgurnus anguillicaudatus*），而白鹤的每日食物中则只有少部分的泥鳅，其余全是稻谷和玉米。有机氯污染物容易在动物的脂肪中富集，并通过食物链，在较高营养级的动物体内表现出较高的浓度。由于泥鳅在淤泥中觅食，不易分解的污染物容易在其体内富集(Ding，2007)。

表 3 东方白鹳和白鹤各不同羽毛间 pp’-DDD 和 pp’-DDT 含量的相关系数

Tab.3 Correlations of residues of pp’-DDD and pp’-DDT between different feathers in Oriental White Stork and Siberian White Crane

部位 Feather	东方白鹳(*n*=7)($r_{pp'\text{-DDD}}/r_{pp'\text{-DDT}}$) Oriental White Stork		白鹤(*n*=10) ($r_{pp'\text{-DDD}}/r_{pp'\text{-DDT}}$) Siberian White Crane	
	廓羽 Contour feather	飞羽 Pluma feather	廓羽 Contour feather	飞羽 Pluma feather
飞羽 Pluma feather	-0.39/0.474		-0.162/1.00**	
尾羽 Tail feather	-0.457/0.801	0.612/0.922	0.314/0.98	-0.285/1.00**

** P<0.01.

虽然东方白鹳和白鹤都处于相同的环境中，但由于其所摄取食物的不同而在其体内表现出不同残留量。可以看出，羽毛中有机氯污染物的富集与其所处营养级具有密切关系。

本文结果与比利时地区的苍鹭（*Ardea cinerea*）、仓鸮（*Tyto alba*）、长耳鸮（*Asio otus*）、雀鹰（*Accipiter nisus*）(Jaspers et al，2007)这 4 种鸟类羽毛中有机氯农药残留相比较（表 4），发现东方白鹳和白鹤羽毛中有机氯残留量高出比利时地区的雀鹰 2—4 倍；比苍鹭羽毛中残留量高出一个数量级，而总六六六的残留量则比比利时地区鸟类羽毛中高出 2 个数量级。这可能与羽毛发育时它们所在环境污染状况不同有关，但是，其食物组成不同及食物中有机氯农药含量的不同可能是导致这些差异的主要原因（Snow & Perrins，1998）。

3.2 不同类型羽毛中有机氯农药残留水平的比较

对于重金属在羽毛中的分布有大量的报道(Odsjo et al，2004；Burger et al，2000；Dauwe et al，2003)，例如，通过对黑脚信天翁（*Diomedea nigripes*）羽毛中重金属的研究发现，大部分重金属在绒羽中的残留量高于廓羽（Burger et al，2000）。在研究重金属汞在羽毛中富集时，发现汞易富集于羽毛中，且初级飞羽中的残留量均高于尾羽。这种重金属的分布特点与汞在羽毛中分布的内在规律及羽毛自身的结构特点有关(Guo et al，2001)。有机氯污染物在不同类型羽毛中分布规律的研究目前还较少见到（Jaspers et al，2006）,本研究首次探讨有机氯农药在鸟类不同部位羽毛中的分布状况。pp’-DDD 在东方白鹳和白鹤不同部位羽毛中平均残留量由高到低顺序都是胸部廓羽>飞羽>尾羽，但不同部位间残留量差异都不显著。这种有机氯农药在不同部位羽毛间的无显著性差异的现象在其他鸟类是否也存在，有待于进一步证实。如果有机氯农药在各种鸟类体内的分布确实不存在部位差异，那么，在有机氯农药监测取样时，就可以不考虑取样部位的差别。

表 4 东方白鹳和白鹤羽毛中有机氯残留平均水平与比利时地区几种鸟类的比较

Tab. 4 Comparison of the average residues of OCPs in feather of Oriental White Stork and Siberian White Crane between some birds from Belgium (μg/g)

有机氯农药 OCPs	苍鹭 Grey Heron	仓鸮 Barn Owl	长耳鸮 Long-eared Owl	雀鹰 Sparrow Hawk	东方白鹳 Oriental White Stork	白鹤 Siberian White Crane
总DDT(∑DDT)	0.021	0.048	0.11	0.230	0.931	0.559
总六六六(∑BHC)	0.004	0.005	0.005	0.005	0.194	0.249
六氯苯 Hexachlorobenzene	0.005	0.001	0.005	0.001	—	—

—表示未检出（Not detected)。

通过东方白鹳和白鹤羽毛中有机氯农药残留量的比较，认为不同物种鸟类同类型羽毛之间差异显著，但同种鸟类不同类型羽毛之间无显著差异，所以在选择鸟类羽毛作为指示物进行生物监测时，可以不考虑所取羽毛部位不同所造成的差异。

致谢：本实验得到安徽大学现代实验技术中心陈琦老师、安徽大学生命科学学院孙庆业教授、于敏副教授、徐挺和王剑锋老师等的支持和帮助，特此表示感谢！

参考文献：

Albanis TA，Goutner V，Konstantinou IK，Frigis K. 2003. Organochlorine contaminants in eggs of the yellow-legged gull (*Larus cachinnans michahellis*) in the North Eastern Mediterranean: is this gull a suitable biomonitor for the region[J]. *Environmental Pollution*，**126**: 245-255.

Barata C，Damasio J，Lopez MA，Kuster M，de Alda ML，Barcelo D，Riva MC，Raldua D. 2007. Combined use of biomarkers and in situ bioassays in *Daphnia magna* to monitor environmental hazards of pesticides in the field[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*，**26**(2): 370-379.

BurgerJ, Gochfeld M. 1995. Biomonitoring of heavy metals in the pacific basin using avian feathers[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*，**14**(7): 1233-1239.

Burger J, Gochfeld M. 2000. Metals in albatross feathers from Midway Atoll: Influence of species，age，and nest location[J]. *Envionmental Reseach*，Section A , **82**: 207-221.

Burger J, Gochfeld M. 2004. Metal levels in eggs of common terns (*Sterna hirundo*) in New Jersey: Temporal trends from 1971 to 2002[J]. *Environmental Research*，**94**: 336-343.

Bustnes JO，Folstad I，Erikstad KE，Fjeld M，Miland O, Skaare U. 2002. Blood concentration of organochlorine pollutants and wing feather

asymmetry in Glaucous Gulls[J]. *Functional Ecology*，**16**: 617-622.

Covaci A，Schepens P. 2001. Chromatographic aspects of the analysis of selected persistent organochlorine pollutants in human hair[J]. *Chromatographla Supplement*，**53**: 366-371.

Dauwe T，Bervoets L，Pinxten R，Blust R，Eens M. 2003. Variation of heavy metals within and among feathers of birds of prey: Effects of molt and external contamination[J]. *Environmental Pollution*，**124**: 429-436.

Dauwe T，Jaspers V，Covaci A，Scherens P，Eens M. 2005. Feathers as a nondestructive biomonitor for persistent organic pollutants[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*，**24**(2): 442-449.

Ding DM. 2007. A study on the concentration of heavy metal in loach as an indicator to pollution level of rivers[J]. *Jiangsu Environmental Science and Technology*, **20**(2): 31-32. [丁冬梅. 2007. 利用泥鳅对重金属富集的现象来指示河流污染变化程度的研究.江苏环境科技, **20**(2): 31-32.]

Dong YH，An Q，Gong ZM，Wang H. 2002. Bioindication of organochlorine pesticides by night heron in Taihu wetland ecosystem[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*，**13**(2):209-212.[董元华，安 琼，龚钟明，王 辉. 2002. 太湖湿地生态系统有机氯污染的夜鹭生物指示. 应用生态学报, **13**(2): 209-212.]

Furness RW, Camphuysen KCJ. 1997. Seabirds as monitors of the marine environment[J]. *ICES Journal of Marine Science*，**54**: 726-737.

Gong ZM，Dong YH，An Q，Wang H，Li YD，Yang LZ，Ruan LZ，Zhang YM，Mauro F. 2001. Organochlorine residues in eggs of Night Heron breeding in Yuantouzhu，Wuxi and their functions as bioindicator[J]. *Environmental Science*，**22**(2): 110-113.[龚钟明，董元华，安 琼，王 辉，李运东，杨林章，阮禄章，张迎梅，Mauro Fasola. 2001. 无锡鼋头渚夜鹭卵中有机氯农药残留及其环境指示意义. 环境科学，**22**(2): 110-113.]

Guo DL，Zhou MS，Xi YY，Zhu J. 2001. The distribution of the heavy metal Hg in the feathers of birds[J]. *Acta Zoologica Sinica*，**47** (special) : 139-149.[郭东龙，周梅素，席玉英，朱 军. 2001. 重金属汞在鸟体羽毛组织中的含量及分布规律. 动物学报，**47** (专刊) : 139-149.]

Jaspers VLB，Covaci SV，Eens A, Eens M. 2006. Can predatory bird feathers be used as a nondestructive biomonitoring tool of organic pollutants[J]. *Biol Lett*，**2**: 283-285.

Jaspers VLB，Voorspoels S，Covaci A，Lepoint G，Eens M. 2007. Evaluation of the usefulness of bird feathers as a non-destructive biomonitoring tool for organic pollutants: A comparative and meta-analytical approach[J]. E*nvironment International*，**33**: 328-337.

Lu B，Wang ZP，Zhu C，Wu GH，Walter V. 2005. Residue levels of PCBs and OCPs in eggs of Antarctic seabirds and their global significance[J]. *Acta Ecologica Sinica*，**25**(9):2440-2445. [卢 冰，王自磐，朱 纯，武光海，Walter Vetter. 2005. 南极食物链顶端海鸟卵中 PCBs 和 OCPs 积累水平及其全球意义. 生态学报，**25**(9): 2440-2445.]

Luebke B. 2002. Pesticide-induced Immunotoxicity: Are humans at risk[J]. *Human and Ecological Risk Assessment*，**8**(2): 293-303.

Moriarty F. 1972. The effects of pesticides on wildlife: Exposure and residues[J]. *The Science of Total Environment*，**1**(3): 267-288.

Naso B，Perrone D，Ferrante MC，Zaccaroni A，Lucisano A. 2003. Organochlorine pollutants in liver of birds of different trophic levels from coastal areas of Campania，Italy[J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*，**45**: 407-414.

Odsjo T，Roos A，Johnels AG. 2004. The tail feathers of osprey nestlings (*Pandion haliaetus* L.) as indicators of change in mercury load in the environment of southern Sweden (1969-1998): A case study with a note on the simultaneous intake of selenium[J]. *AMBIO*，**33**(3): 117-121.

Ratcliffe DA. 1967. Decrease in eggshell weight in certain birds of prey[J]. *Nature*，**215**: 208-210.

Robinson HL，Schwartz CC，Petty JD. Brussard PF. 2006. Assessment of pesticide residues in army cutworm moths (*Euxoa auxiliaris*) from the Greater Yellowstone Ecosystem and their potential consequences to foraging grizzly bears (*Ursus arctos horribilis*)[J]. *Chemosphere*，**64**: 1704-1712.

Shu LM，Yuan X. 2003. Persistent Organic Pollutants (POPs) and their ecotoxicity study[J]. *Chongqing Environment Science*，**25**(9): 62-64. [苏丽敏，袁 星. 2003. 持久性有机污染物（POPs）及其生态毒性的研究现状与展望. 重庆环境科学，**25**(9): 62-64.]

Snow DW，Perrins CM. 1998. The Birds of the Western Palearctic，Concise Edition[M]. vol.1. Oxford University Press.

Van Den Brink NW, Jansman HAH. 2006. Applicability of spraints for monitoring organic contaminants in free-ranging otters (*Lutra lutra*)[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*，**25**(11): 2821-2826.

Zhao HF，Lei FM. 2002. Birds as monitors of environmental change[J]. *Chinese Journal of Zoology*，**37** (6): 74-78. [赵洪峰，雷富民. 2002. 鸟类用于环境监测的意义及研究进展. 动物学杂志，**37** (6): 74-78.]

Zhou LZ，Li JH，Yin HB，Chang W，Wang X，Liu Q，Xu SQ，Gui XQ，Yan RW. 2005. Enrichment characteristics of heavy metals in heron eggs[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*，**16**(10): 1932-1937. [周立志，李进华，尹华宝，苌 伟，王 翔，刘 奇，徐思琦，桂学琴，严睿文. 2005. 三种重金属元素在鹭卵中富集特征的初步研究. 应用生态学报, **16**(10): 1932-1937.]